

## 中国小兴安岭北部浅层滑坡地质与变形特征的研究

胡照广, 单炜\* (东北林业大学, 黑龙江哈尔滨 150040)

**摘要** [目的] 研究中国小兴安岭北部浅层滑坡的地质特征和变形特征。[方法] 以穿越小兴安岭西北段的北安至黑河高速公路 K178 + 530 路段滑坡为例, 采用地质勘察、地表 GPS 变形监测、路基和边坡土体地温变化监测等方法, 研究分析滑坡的地质特征和变形特征。[结果] 滑坡位于高纬度多年冻土区, 区域内有岛状多年冻土层分布, 由于大气降水、岛状多年冻土退化、区域气候条件和特殊的地质条件影响, 滑坡每年 5 月末至 11 月初滑动, 冬季处于稳定状态。至 2014 年 1 月, 滑坡体中、后部滑动距离最大达 113.32 m, 滑坡体前缘向前滑动 26.4 m。[结论] 滑坡体中、后部滑动速率大于前缘, 滑坡滑动方式为推进式, 滑坡的变形具有季节性、间歇性和低角度等特点。**关键词** 高纬度多年冻土; 地质勘察; 滑坡; 变形监测  
中图分类号 S181.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)05-211-04

## Superficial Layer Landslide Deformation Features in Northern Part of Lesser Khingan Region, China

HU Zhao-guang, SHAN Wei\* (Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

**Abstract** [Objective] To research the superficial layer landslide deformation features in northern part of Lesser Khingan Region, China. [Method] Bei'an-Heihe Expressway crosses northwest part of the Lesser Khingan Range region. Geological survey, the surface of GPS deformation monitoring, the subgrade and the soil temperature change monitoring were used to study geological characteristics and deformation characteristics of landslide. [Result] The landslide is located in an area of the island's permafrost. Due to atmospheric precipitation, the presence of permafrost, regional climate conditions, and special geological conditions, landslides occur annually from late May to early November. The area is in a relatively stable state during winter. These seasonal landslides have seasonal, gradual, low angle characteristics. By January 2014, the landslide had moved a distance of up to 113.32 m (in the rear), and 26.4 m (at the leading edge). [Conclusion] Within the same cross section of landslide, the sliding displacement of center is largest, and near landslide flank is smallest. The landslide deformation has features of seasonal, intermittent and low angle.

**Key words** High latitude permafrost; Geological exploration; Landslide; Deformation monitoring

多年冻土区斜坡稳定性研究是滑坡学一个独特的研究领域。40 多年来, 我国在寒区开展了大量的工程和经济开发活动, 线性工程建设规模日益加大, 将不可避免地影响到多年冻土的热稳定性, 从而引发不同类型的地质灾害, 如融沉、滑坡等。目前, 我国对于多年冻土地区滑坡形成机理和滑动特征的研究主要集中在青藏高原的高海拔冻土地区, 研究的重点也集中在了多年冻土的热融滑塌导致斜坡失稳。马立峰等<sup>[1]</sup>通过研究青藏公路 K3035 里程处的热融滑塌, 得出了热融滑塌的产生、发展及其消亡与多年冻土条件和外因力的诱发关系密切, 且滑塌范围的扩展随地温的周期变化波动进行, 并主要集中在 7~9 月, 最大扩展范围出现在沿坡体倾向方向。李同录等<sup>[2]</sup>通过对川藏公路 102 滑坡群进行研究, 分析了川藏公路沿线滑坡的发育特征, 得出了地下水活动、河流冲刷、地震影响等各种营力长期作用是导致滑坡滑动的主因。谷天峰等<sup>[3]</sup>通过现场勘察、监测、室内试验和有限元模拟分析研究了藏东南妥坝堆积体滑坡, 得出了高强度降水、季节性冻土融化是引起和加剧滑坡的形成和解体的主要原因, 滑坡的运动特征为间隙性的牵引式低速滑动。

在寒区滑坡的研究中, 对于我国黑龙江省小兴安岭地区的滑坡研究较少, 小兴安岭北部属于高纬度多年冻土地区。近年来, 此地区的多年冻土处于剧烈的退化状态, 滑坡地区地面坡度较低, 滑坡的形成机制和变形特征都存在其特殊性, 目前, 在此方面研究的理论和实践都尚不成熟。该研究

以穿越小兴安岭西北段的北安至黑河高速公路 K178 + 530 断面的滑坡为例, 结合地质勘察和 GPS 定位技术研究小兴安岭北部多年冻土地区土质滑坡的形成机制和运动特征。

## 1 研究区地质环境条件

**1.1 自然地理条件和滑坡概况** 研究区地处小兴安岭北部, 属寒温带大陆性季风气候, 春季短、回暖快, 夏季温热多雨, 秋季短、降温快, 冬季寒冷漫长; 年平均气温为 0.6℃, 平均降雨量 510~650 mm, 平均降雪期为 215 d, 无霜期为 90~120 d; 降雨多集中于 6~9 月, 约占全年总降水量的 65%; 初雪一般在 10 月下旬, 终雪一般在翌年 3 月末或 4 月初。季节性冻土层深度为 2.30~2.50 m, 在部分沟谷低洼地段有岛状多年冻土分布。

如图 1 为 K178 + 530 滑坡区域三维地形, 滑坡位于道路左侧填方, 筑路弃土、路基填土和边坡表层土一同沿沟谷发生滑动, 滑动最远距离公路 200 m。滑坡体平面呈舌状, 宽 20~30 m, 面积约 6 000 m<sup>2</sup>, 前后缘距离 200 m, 前缘高程 254 m, 后缘高程 285 m。图 1 为滑坡区域三维地形, 图 2 为滑坡现场照片, 前缘将原地地面地表腐殖土(塔头)推起一起向前滑动, 滑坡后缘有阶弧形错台, 错台位于加宽路基范围之内。在滑坡舌的位置有树木倾斜的现象。

**1.2 地质条件** 研究区地表出露地层由老至新有: 上白垩统嫩江组、第三系中上新统孙吴组、第四系全新统现代河流冲积层。侵入岩不发育。上白垩统嫩江组(K2n)出露于山体或丘陵的中下部, 面积较大, 为一套河湖相的细碎屑沉积, 岩性为褐灰、灰绿色泥岩、粉砂质泥岩夹黄色泥质粉细砂岩、粉细砂岩, 下部见有黄色细砂岩和薄层含砾砂岩, 弱胶结, 抗风化能力差, 风化深度较大, 近地表部分基本全风化, 既含水

**基金项目** 交通运输部科技项目(2011318223630); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2572014AB07)。**作者简介** 胡照广(1986-), 男, 河南漯河人, 博士研究生, 研究方向: 林区道路工程。\* 通讯作者, 教授, 博士, 从事岩土工程灾害研究。  
**收稿日期** 2014-12-25

又隔水,不整合于上侏罗统神树组和下白垩统光华组火山岩及晚印支期花岗岩基底之上,被第三系中上统孙吴组不整合覆盖。第三系中上新统孙吴组(N1-2s)出露于区内山体或丘陵的顶部,面积较大,为一套河流相碎屑沉积,岩性以含砾砂岩为主,夹薄层泥岩,岩石基本无胶结,呈松散状态,呈帽状不整合于上白垩统嫩江组之上。第四系全新统现代河流冲堆积(Q)分布于地势低洼的沟谷滩地,由地表腐植土、粘土、砾砂、淤泥质土组成。

研究中,在 K178 + 530 断面首先进行以钻探为主的工程地质勘察,布设 A、B、C 和 D 共 4 个工程勘察钻孔,钻孔孔

深 14 ~ 26 m, 钻孔分布如图 1 所示。

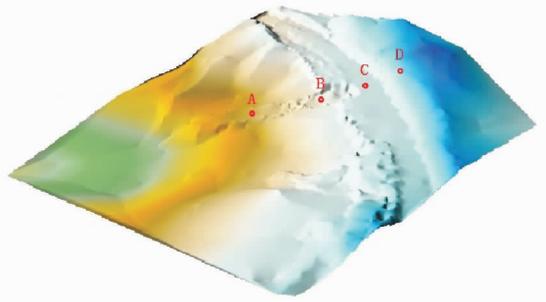


图 1 滑坡区域三维地形



图 2 滑坡现场照片

注:①滑坡全景;②滑坡后缘。

在研究路段勘察范围内所见土体岩性自上而下为:第四系松散层,第三系含砾砂岩、白垩系泥岩、粉砂岩,地质剖面见图 3。路基填土或筑路弃土:黄色,主要为挖方第三系含砾砂岩和白垩系泥岩、砂质泥岩松散混杂体,干时松散,饱和软塑;粉质粘土:黄色,软可塑,干强度和韧性较大,且有多个粗砂夹层,单层厚度约 1 ~ 10 cm,大大增加了土体的渗水能力;第三系含砾砂岩:全风化,成分以长英石以及砂土矿物为主,级配良好,强透水性;全风化粉砂岩:黄色,砂质结构,层理构造,渗水能力较差。全风化泥岩:黄色或灰绿色,泥质结构,层状构造,遇水抗软化能力差,渗水能力较差。强风化泥岩:黑灰色,泥质结构,层状构造,岩石弱胶结。中等风化泥岩:褐、黑灰色,泥质结构,层状构造。

粉质粘土层中剪出。大气降水、融雪水、裂隙泉水和坡体浅层季节性冻土融化水为山体滑坡提供了持续水源,坡面上的鼓胀裂缝和浅层高渗透性的岩土体为地表水和地下水提供了入渗通道,低渗透性的基岩形成隔水层,隔水层处岩土体达到饱和状态抗剪强度急剧下降形成滑动带。

2 滑坡变形特征分析

2.1 滑坡的滑动位移监测 2010 年 7 月 22 日,位于 K178 + 530 滑坡体上的两个深度变形监测管 A 和 B 分别在距滑坡体地表面 6.5 m、4.2 m 处被剪断,滑坡土体发生了滑动,变形监测管上部随着滑坡体滑动。以 A 和 B 为 GPS 变形监测点,连续不间断地对滑坡进行滑动位移监测。

如图 4 和图 5 所示,分别为变形监测管 A 和 B 水平方向和竖直方向的滑动位移曲线图。由 A 和 B 的滑动曲线可以看出,从 2010 年 7 月 22 日滑坡体开始滑动起到 2010 年 11 月中旬,滑坡一直处于滑动状态,11 月中旬以后,地表层开始冰冻,直到 2011 年 5 月末,滑坡体始终处于不滑动状态,从 2011 年 5 月末,滑坡又开始滑动。两个监测点的变形位移具有不完全同步性,且位移变化幅度各异。两个监测点在启动变形时,不具有同步性,如 2011 年 5 月末监测 B 已经开始滑动,但监测点 A 还处于静止状态,这说明滑坡体启动变形时,后缘先开始滑动,变形逐渐向前缘方向传递,经过 10 多天以后,靠近前缘位置才开始滑动,且滑坡体后缘位移量比滑坡体前缘较大,此滑动变形特征充分表明了滑坡属于推进式滑坡,动力来源于滑坡体后缘。

2.2 滑坡体周界变化特征 K178 + 530 滑坡外部形态呈现为条带状,随着滑坡体的形成和不断发展,滑坡体的表现形态在不断发生变化,滑坡范围在逐渐增大。如图 7 所示为

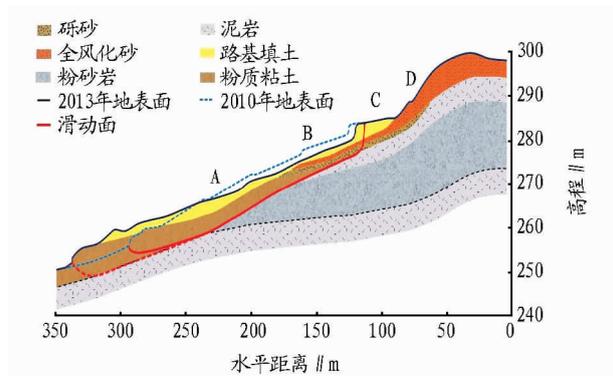


图 3 K178 + 530 断面地质剖面示意

勘察结果表明:滑坡体上游滑动面位于 4.2 m 深度的砾砂和粉砂岩交界面,滑动面以下为渗水能力较差的粉砂岩;滑坡体中、下游滑动面位于 6.5 m 深度的粉质粘土和泥岩交界面,滑动面以下为渗水能力较差的泥岩;滑坡体最前缘在

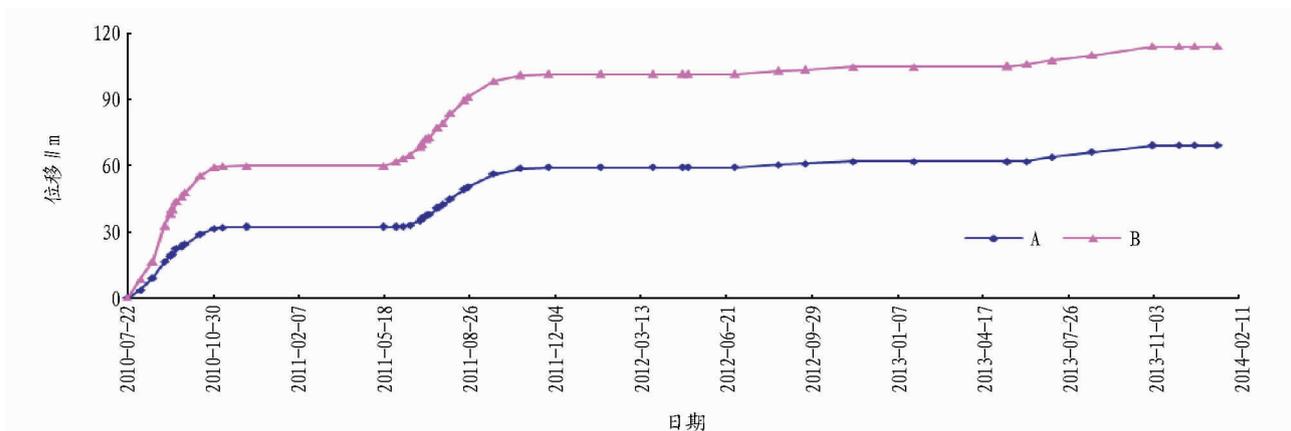


图 4 变形监测管 A 和 B 的水平方向滑动位移曲线

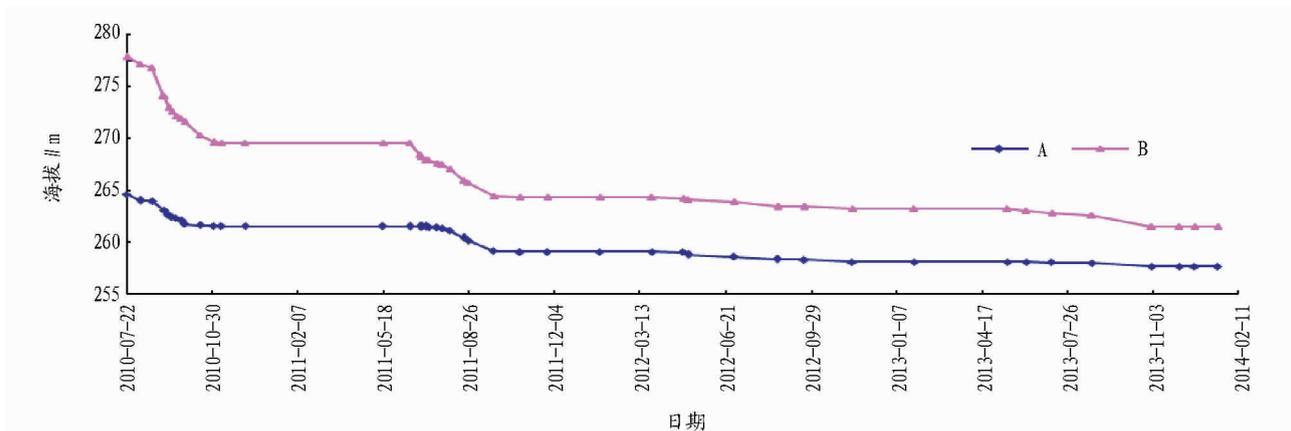


图 5 变形监测管 A 和 B 的竖直方向滑动位移曲线



图 6 2004 年 K178 + 530 滑坡范围 (Google 图像)



图 7 2010 年 10 月 K178 + 530 滑坡范围 (Google 图像)

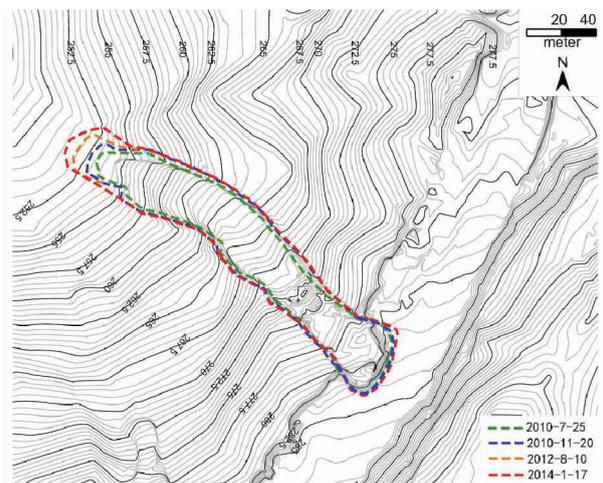


图 8 K178 + 530 滑坡边界变化图

2010 年 10 月份滑坡图像,此时的滑坡体面积为 2004 年滑坡体面积(见图 6)的 1.5 倍,滑坡在近几年发生了较大的变形。

研究中,为了研究近几年滑坡的周界变化,分别于 2010 年 7 月、2010 年 11 月、2012 年 8 月和 2014 年 1 月 4 次对滑坡体周界进行 GPS 定位测量,掌握了滑坡体周界的变化。如图 8 所示,为 K178 + 530 滑坡周界变化图,图中用绿线、蓝线、桔黄线和红线分别表示前后 4 次对滑坡体周界进行 GPS 定位测量。由图 8 可知,滑坡体后缘在不断往道路方向侵蚀扩张,滑坡对道路的侵蚀危害正在增强;滑坡体前缘位置在不

断向滑动方向推进,自2010年7月到2010年11月,滑坡体前缘位置向前推进了15.5 m,自2010年7月到2014年1月,滑坡体前缘位置向前推进了26.4 m。2010年7月滑坡体坡面坡度为 $8.07^\circ$ ,2014年1月滑坡体坡面坡度为 $6.2^\circ$ 。

### 3 结论

(1) K178 + 530 滑坡属于土质浅层滑坡,滑坡体上游滑动面位于4.2 m深度的砾砂和粉砂岩交界面;滑坡体中、下游滑动面位于6.5 m深度的粉质粘土和泥岩交界面;滑坡体最前缘在粉质粘土层中剪出。裂隙水的不断侵蚀、较大强度相对集中的降雨、后缘大量的堆积土是滑坡形成的主要诱导因素。

(2) 由于地处高纬度多年冻土地区,该区域滑坡受天气条件影响,滑动特征具有季节性、间歇性,夏季滑动较快,冬季相对静止。滑坡坡面具有低角度特点,2010年7月 K178 + 530 滑坡体坡面坡度为 $8.07^\circ$ ,2014年1月坡度为 $6.2^\circ$ 。

(3) K178 + 530 滑坡属于推进式滑坡,动力来源于滑坡体后缘。在同一时期内,滑坡体各个位置滑动位移量相差较大,滑坡体中上游滑动位移量大于滑坡体前缘处。

### 参考文献

[1] 马立峰,牛富俊,杨宁芳. 多年冻土热融滑塌的地温变化及滑坡过程分

- 析[J]. 水文地质工程地质,2006(3):53-56,71.
- [2] 李同录,赵剑丽,李萍. 川藏公路102滑坡群2#滑坡发育特征及稳定性分析[J]. 灾害学,2003(4):41-46.
- [3] 谷天峰,王家鼎,路勋,等. 藏东南妥坝3#堆积体滑坡特征及稳定性分析[J]. 自然灾害学报,2009(1):32-38.
- [4] 乔建平. 滑坡体结构与坡形[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(9):1355-1358.
- [5] 单炜,刘红军,杨林,等. 季冻区土质路堑边坡浅层含水率变化研究[J]. 岩土力学,2008,29(S1):335-340.
- [6] JIANG H, SHAN W. Formation mechanism and stability analysis of Bei'an - Heihe Expressway expansion project K178 landslide[J]. Advanced Materials Research, 2012, 368/373:953-958.
- [7] 孔繁良,陈超,孙冠军. 高密度电法在清江水布垭库区滑坡调查中的应用[J]. 工程地球物理学报,2008,5(2):201-204.
- [8] 孙祺华,徐宏武,张宜清,等. 高密度直流电法在高速公路滑坡探测中的应用[J]. 贵州工业大学学报,2008,37(6):101-105.
- [9] ZHU Y S, LI H J, CAO N E. Finite element method research on road slide stability analysis[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24(4):39-42.
- [10] 李冬芹,韩文喜,庞茂康. 三峡水库库水位下降条件下川主庙滑坡的渗流分析[J]. 水电能源科学,2011,29(1):85-88.
- [11] ZHU Y, RAO Z, WU B. Organic and gas geochemistry of gas hydrate-bearing sediments from mallik 5L-38 production research well [J]. Mackenzie Delta, Canada, Geological survey of Canada Bulletin, 2004, 68(2):311-319.
- [12] 王有成,喻自祥. 浅谈新河高速公路几类滑坡的发生机理及其治理措施[J]. 公路,2008(2):110-115.

(上接第98页)

棵期 > 打顶当天 > 打顶当天 + 现蕾期 + 团棵期 > 打顶当天 + 团棵期 > 打顶当天 + 现蕾期;不同处理对烤烟上部叶总糖含量影响的大小顺序为团棵期 > CK > 打顶当天 > 现蕾期 > 现蕾期 + 团棵期 > 打顶当天 + 团棵期 > 打顶当天 + 现蕾期 > 打顶当天 + 现蕾期 + 团棵期。烟草生长不同时期喷施钾肥均能降低上、中部烟叶中烟碱的含量,不同处理对烤烟上部烟叶中烟碱含量的影响呈现出打顶当天 > 现蕾期 > 团棵期的规律;叶面喷肥不同处理对烤烟上部烟叶淀粉含量的影响规律不明显。

表5 叶面喷施钾肥次数及喷施时期对烤烟上部烟叶化学成分的影响

处理	总氮	氯	还原糖	总糖	淀粉	烟碱
A1	24.25	3.88	185.31	245.31	20.78	32.32
A2	23.51	3.68	185.25	225.52	21.14	32.15
A3	22.91	3.65	163.61	228.60	21.90	31.53
A4	21.58	2.91	155.91	205.25	22.56	29.86
A5	22.57	3.24	157.52	210.20	20.55	30.23
A6	22.96	3.51	164.52	210.52	23.94	30.11
A7	21.42	3.00	153.34	202.86	22.64	29.21
CK	24.75	3.95	201.58	243.96	21.86	32.96

### 3 结论与讨论

研究表明,烤烟在不同生长时期叶面喷施钾肥对烤烟物理性状、主要化学成分尤其是钾含量均有不同程度的影响。在物理性状方面,大田烤烟生产时分次喷施钾肥对烤烟上部烟叶叶长、叶宽、叶厚等物理性状指标的影响明显,能增加上部烟叶的可用性,且喷钾次数越多,影响越显著。在烟叶钾含量方面,打顶当天 + 现蕾期 + 团棵期处理上部烟叶钾含量最高。在化学成分方面,叶面喷施钾肥能降低上部叶中总氮、氯的含量,且喷钾次数越多,其影响越显著,但在团棵期喷钾对上部烟叶总氮、氯含量的影响不大;叶面喷肥不同处理对烤烟上部烟叶淀粉含量的影响规律不明显。不同处理对烤烟上部烟叶中烟碱含量的影响呈现出打顶当天 > 现蕾期 > 团棵期的规律。因此,在大田生产过程中,烟草叶面喷施  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  应注意在中、后期。

### 参考文献

- [1] 周道金,郑开强,黄光伟,等. 烤烟生长后期喷施叶面肥对上部叶质量的影响[J]. 福建农业科技,2006(1):48-50.
- [2] 施卫明,王校常,曹志洪. 植物钾离子通道研究现状[J]. 植物生理学通讯,1998,34(3):219-223.
- [3] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2003:179-181.
- [4] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.